

POWERED BY **Dialog**

ALIGNER**Publication Number:** 11-243052 (JP 11243052 A) , September 07, 1999**Inventors:**

- OTA KAZUYA

Applicants

- NIKON CORP

Application Number: 10-324802 (JP 98324802) , November 16, 1998**Priority:**

- 09330862 [JP 979330862], JP (Japan), November 14, 1997

International Class:

- H01L-021/027
- G03F-007/20

Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To effectively suppress the deterioration of image forming characteristics caused by the irradiation of illuminating light. **SOLUTION:** This device has a heat pipe HP, which is arranged in a non- irradiated region of illuminating light on the reflecting surface of a mirror M1, formed of material (low-expansion glass) having low thermal conductivity in a plurality of mirrors constituting a projecting optical system PO, and a cooling jacket 52 connected to the heat pipe HP. As a result, the advantage of the low-expansion glass, which does not deteriorate the image forming characteristics through deformation for considerable temperature change, is utilized. At the same time, the reflecting surface is cooled directly so that the temperature change exceeding the limit is not generated. Thus, the deterioration of the image forming characteristics of the projecting optical system caused by the irradiation of the illuminating light can be prevented. As a result, the deterioration of the image forming characteristics caused by the irradiation of the illuminating light can be suppressed. COPYRIGHT: (C)1999,JPO

JAPIO

© 2004 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.

Dialog® File Number 347 Accession Number 6301457

特開平11-243052

(43) 公開日 平成11年(1999) 9月7日

(51) Int.Cl.⁶ 識別記号

H 0 1 L 21/027

G 0 3 F 7/20

5 2 1

F I

H 0 1 L 21/30

G 0 3 F 7/20

H 0 1 L 21/30

5 1 6 E

5 2 1

5 1 6 F

5 1 7

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願平10-324802

(22) 出願日 平成10年(1998)11月16日

(31) 優先権主張番号 特願平9-330862

(32) 優先日 平9(1997)11月14日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 太田 和哉

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

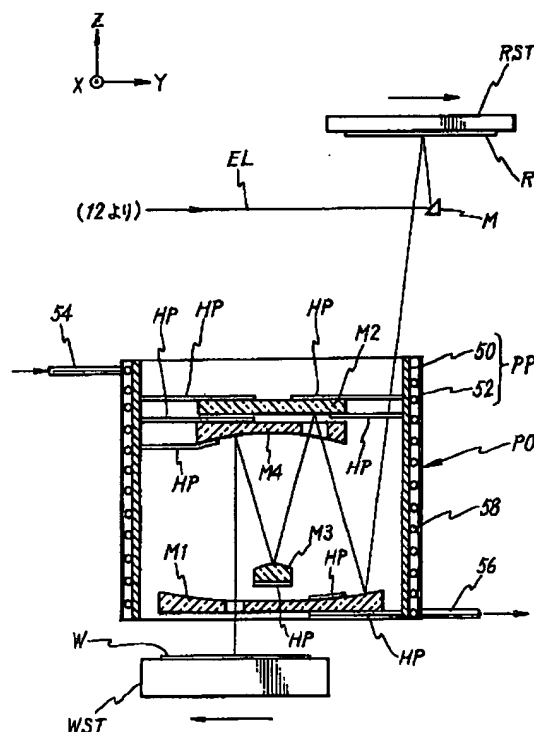
(74) 代理人 弁理士 立石 篤司 (外1名)

(54) 【発明の名称】 露光装置

(57) 【要約】

【課題】 照明光の照射に起因する結像特性の悪化を効果的に抑制する。

【解決手段】 投影光学系 P O を構成する複数のミラーの内の熱伝導率が小さな材料 (低膨張ガラス) により形成されたミラー M 1 の反射面上の照明光の非照射領域に配置されたヒートパイプ H P 及びこれに接続された冷却ジャケット 5 2 を備える。このため、かなりの温度変化に対してはその変形が結像特性を悪化させることがないという低膨張ガラスの長所を生かすとともに、限界を超える温度変化が生じないように反射面を直接冷却することにより、照明光の照射に起因する投影光学系の結像特性の悪化を防止することができ、結果的に照明光の照射に起因する結像特性の悪化を抑制することが可能になる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 照明光によりマスクを照射し、該マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光装置であって、

前記投影光学系として複数のミラーから成る反射光学系が用いられ、

前記複数のミラーの内の少なくとも1つのミラーが熱伝導率が小さい材料により形成され、

前記熱伝導率が小さい材料から成るミラーの前記照明光が照射される反射面上の前記照明光の非照射領域に配置された冷却装置を備える露光装置。

【請求項2】 前記反射面上に前記冷却装置が配置された前記ミラーの裏面側にも冷却装置が配置されたことを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

【請求項3】 照明光によりマスクを照射し、該マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光装置であって、

前記投影光学系として前記照明光が順次に照射される第1ミラーと第2ミラーとを含む複数のミラーから成る反射光学系が用いられ、

前記複数のミラーを保持する鏡筒を冷却する鏡筒冷却装置と；前記複数のミラーの内の少なくとも1つのミラーと前記鏡筒との間に設けられた熱交換器とを備える露光装置。

【請求項4】 前記鏡筒が少なくとも1つのミラーをそれぞれ保持する複数の分割鏡筒から成り、

前記鏡筒冷却装置が、前記各分割鏡筒を独立して冷却し、
前記熱交換器は、前記各分割鏡筒と該分割鏡筒によって保持される少なくとも1つのミラーとの間に少なくとも各1つ設けられていることを特徴とする請求項3に記載の露光装置。

【請求項5】 前記複数の分割鏡筒の1つは、前記照明光が最初に照射される前記第1ミラーを保持する分割鏡筒であり、

前記熱交換器の内の1つは、前記第1ミラーと該第1ミラーを保持する分割鏡筒との間に設けられ、

前記鏡筒冷却装置は、前記第1ミラーを保持する分割鏡筒を他の分割鏡筒より低温で冷却することを特徴とする請求項4に記載の露光装置。

【請求項6】 前記熱交換器がヒートパイプであることを特徴とする請求項3～5のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項7】 前記マスクは反射型マスクであり、前記マスクの前記照明光の入射側と反対側に配置される第2冷却装置を更に備えたことを特徴とする請求項1又は3に記載の露光装置。

【請求項8】 マスクに照明光を照射する照明光学系を有し、前記マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置であって、

反射光学素子を有し、前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系と；前記反射光学素子とそれを保持する鏡筒との間に設けられる熱交換器とを備える露光装置。

【請求項9】 前記熱交換器は、前記反射光学素子の反射面の一部とその裏面との少なくとも一方に接続されていることを特徴とする請求項8に記載の露光装置。

【請求項10】 前記投影光学系は複数の反射光学素子のみから成り、前記複数の反射光学素子の少なくとも1つが前記熱交換器と接続されることを特徴とする請求項8又は9に記載の露光装置。

【請求項11】 前記複数の反射光学素子のうち、前記マスクに対する光学的距離が最も短い反射光学素子が前記熱交換器と接続されることを特徴とする請求項10に記載の露光装置。

【請求項12】 前記投影光学系は、リング・イメージ・フィールドを有し、かつ物体面側が非テレセントリックで、像面側がテレセントリックな光学系であることを特徴とする請求項10又は11に記載の露光装置。

【請求項13】 前記マスクは反射型マスクであり、前記照明光学系は、前記マスクのパターン面に対して前記照明光をその主光線を傾けて照射することを特徴とする請求項8～12のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項14】 前記照明光は、波長5～15nmの間のEUV光であることを特徴とする請求項1～13のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項15】 前記投影光学系の視野内で前記照明光の照射領域を円弧スリット状に規定する絞り部材を更に備えることを特徴とする請求項14に記載の露光装置。

【請求項16】 前記投影光学系は前記反射光学素子と屈折光学素子とを有する縮小系であることを特徴とする請求項8又は9に記載の露光装置。

【請求項17】 前記投影光学系は円形イメージフィールドを有し、かつ物体面側、及び像面側が共にテレセントリックな光学系であることを特徴とする請求項16に記載の露光装置。

【請求項18】 前記照明光は波長200nm程度以下の真空紫外光であることを特徴とする請求項16又は17に記載の露光装置。

【請求項19】 前記照明光学系は、前記投影光学系の視野内で前記照明光の照射領域を矩形スリット状に規定することを特徴とする請求項18に記載の露光装置。

【請求項20】 前記照明光に対して前記マスクと前記基板とをそれぞれ相対移動するステージシステムを更に備え、前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動して、前記マスク及び前記投影光学系を介して前記照明光で前記基板を走査露光することを特徴とする請求項1～19のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項21】 前記同期移動中、前記投影光学系の光軸方向に関する前記マスクの位置情報を検出する第1位置検出系と、前記光軸方向に関する前記基板の位置情報を検出する第2位置検出系とを更に備えることを特徴する請求項20に記載の露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、露光装置に係り、更に詳しくは、例えば半導体素子や液晶表示素子等の回路デバイスをリソグラフィ工程で製造する際に用いられる露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】現在、半導体デバイスの製造現場では、波長365nmの水銀ランプのi線を照明光とした縮小投影露光装置、所謂ステッパを使って最小線幅が0.3～0.35μm程度の回路デバイス（64M（メガ）ビットのD-RAM等）を量産製造している。同時に、256Mビット、1G（ギガ）ビットD-RAMクラスの集積度を有し、最小線幅が0.25μm以下の次世代の回路デバイスを量産製造するための露光装置の導入が始まっている。

【0003】その次世代の回路デバイス製造用の露光装置として、KrFエキシマレーザ光源からの波長248nmの紫外パルスレーザ光、或いはArFエキシマレーザ光源からの波長193nmの紫外パルスレーザ光を照明光とし、回路パターンが描画されたマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）と感応基板としてのウエハを縮小投影光学系の投影視野に対して相対的に1次元走査することで、ウエハ上の1つのショット領域内にレチクルの回路パターン全体を転写する走査露光動作とショット間ステッピング動作とを繰り返す、ステップアンドスキャン方式の走査型露光装置の開発が行われている。

【0004】ところで、半導体デバイスの集積度は、将来的に更に高集積化し、1Gビットから4Gビットに移行することは間違いがなく、その場合のデバイスルールは0.1μmすなわち100nmL/S程度となり、上記の波長193nmの紫外パルスレーザ光を照明光として用いる露光装置により、これに対応するには技術的な課題が山積している。デバイスルール（実用最小線幅）を表す露光装置の解像度は、一般的に露光波長λと、投影光学系の開口数N.A.を用いて次式（1）で表される。

【0005】

$$(\text{解像度}) = k \cdot \lambda / N.A. \quad \dots\dots (1)$$

ここで、kはケイファクタと呼ばれる1以下の正の定数で、使用されるレジストの特性などにより異なる。

【0006】上記式（1）から明らかなように解像度を高くするには、波長λを小さくすることが極めて有効であるため、最近になって波長5～15nmの軟X線領域

の光（本明細書では、この光を「EUV（Extreme Ultraviolet）光」とも呼ぶ）を露光光として用いるEUV露光装置の開発が開始されるに至っており、かかるEUV露光装置が最小線幅100nmの次世代の露光装置の有力な候補として注目されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】EUV露光装置では、一般的に反射型レチクルを用い、この反射型レチクルに照明光を斜めから照射し、そのレチクル面からの反射光を反射光学系から成る投影光学系を介してウエハ上に投射することによって、レチクル上の照明領域のパターンがウエハ上に転写されるようになっている。また、このEUV露光装置では、投影光学系の結像性能の良好な部分のみを利用してパターン転写を行うべく、レチクル上には円弧状の照明領域が設定され、レチクルとウエハとを投影光学系に対して相対走査することによりレチクル上のパターンの全面を投影光学系を介してウエハ上に逐次転写する走査露光方法が採用されている。

【0008】反射型レチクルを用いる理由は、EUV露光装置に使用される光の波長（5～15nm）においては、吸収なく効率的に光を透過する物質が存在しないからである。但し、その反射型レチクルのパターン面に形成される反射膜として現在開発されているのはせいぜい70%前後の反射率しかない。そのため残りの30%が吸収されて熱に交換され、反射光学系を構成するミラー（反射光学素子）の温度上昇を招く。この温度上昇により最悪ミラーが大きく変形し、十分な結像特性を維持することができなくなってしまう。このため、これまでのEUV露光装置ではミラーの背面に強制冷却手段、例えば液体冷却とか、ペルチェ素子による冷却を施すことによりミラーの熱を逃がしていた。

【0009】この場合、ミラーの材質として考えられているのは、低膨張ガラスや金属である。低膨張ガラスは温度変化に対する線膨張率が極めて小さいため、かなりの温度変化に対してはその変形量が結像性能を悪化させることは無いが、それにも限度があるため冷却することが望ましい。

【0010】しかしながら、低膨張ガラスは熱伝導率が極めて低いことから、上記の如く、ミラー背面側を単に冷却するという手法では、ミラー表面で発生した熱が裏面に伝わるまでに多大な時間を要し、結果的にミラー表面から裏面に掛けて温度勾配が生じ、最も重要なミラー表面、すなわち反射面を十分に冷却することができず、この結果反射面に変形が生じて投影光学系の結像特性が悪化し、これにより基板上に転写されるパターンの像（以下、「転写像」ともいう）が劣化するおそれがあるという不都合があった。

【0011】また、転写像の劣化は、パターンが形成されたマスクの照明光吸収による熱変動（照射変動）によっても生じ得る。

【0012】本発明は、かかる事情の下になされたもので、その目的は、照明光の照射によるマスク又は投影光学系の照射変動（以下、「照射変動」という）に起因する転写像の劣化を効果的に抑制することができる露光装置を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】EUV露光装置のように投影光学系として反射光学系を用いる露光装置、あるいは反射屈折光学系を用いる露光装置では、照明光は反射光学素子の一部にのみ当たるので、照明光が当たらない領域であればその反射面を冷却する冷却装置を配置することが可能であると考えられる。本発明は、かかる点に着目し、以下のような構成を採用する。すなわち、

【0014】請求項1に記載の発明は、照明光（EL）によりマスク（R）を照射し、該マスクに形成されたパターンを投影光学系（PO）を介して基板（W）上に転写する露光装置であって、前記投影光学系として複数のミラー（M1～M4）から成る反射光学系が用いられ、前記複数のミラーの内の少なくとも1つのミラーが熱伝導率が小さい材料により形成され、前記熱伝導率が小さい材料から成るミラーの前記照明光が照射される反射面上の前記照明光の非照射領域に配置された冷却装置（HP、52）を備える。

【0015】これによれば、投影光学系を構成する複数のミラーの内の熱伝導率が小さい材料により形成されたミラーの反射面上の照明光の非照射領域に配置された冷却装置を備えることから、かなりの温度変化に対してはその変形が結像特性を悪化させることがないという熱伝導率が小さい材料の長所を生かすとともに、限界を超える温度変化が生じないように反射面を直接冷却することにより、照明光の照射に起因する投影光学系の結像特性の悪化を防止することができ、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。この場合において、熱伝導率が大きい材料により形成された他のミラーについては、従来と同様に裏面側から冷却しても勿論良い。

【0016】また、この場合、請求項2に記載の発明の如く、前記反射面上に前記冷却装置が配置された前記ミラーの裏面側にも冷却装置が配置されていても構わない。

【0017】請求項3に記載の発明は、照明光（EL）によりマスク（R）を照射し、該マスクに形成されたパターンを投影光学系（PO）を介して基板（W）上に転写する露光装置であって、前記投影光学系として前記照明光が順次照射される第1ミラー（M1）と第2ミラー（M2）とを含む複数のミラー（M1～M4）から成る反射光学系が用いられ、前記複数のミラーを保持する鏡筒（PP）を冷却する鏡筒冷却装置（52）と；前記複数のミラーの内の少なくとも1つのミラーと前記鏡筒との間に設けられた熱交換器（HP）とを備える。

【0018】これによれば、鏡筒冷却装置により複数のミラーを保持する鏡筒が冷却される。また、照明光の照射により前記複数のミラーに温度上昇が生じると、熱交換器により複数のミラーの内の少なくとも1つのミラーと鏡筒との間で熱交換が行われ、該ミラーが強制的に冷却される。この熱交換器による熱交換は、該ミラーに対する照明光の照射中は連続的に行われる。従って、熱交換器が接続されたミラーの変形を防止することができ、投影光学系の結像特性が悪化するのを防止することができ、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。この意味からは、鏡筒に保持された全てのミラーと鏡筒との間に熱交換器を設け、全てのミラーの熱変形を防止するようにしても勿論良い。あるいは、照明光が最初に照射される第1ミラーにのみ熱交換器を接続しても良い。あるいは第1ミラーに加え、第2ミラーに熱交換器を接続してもよい。照明光の熱エネルギーは第1ミラーの位置で最も高いので少なくとも第1ミラーと鏡筒との間に熱交換器を設け、第1ミラーを強制冷却することが望ましい。

【0019】請求項4に記載の発明は、請求項3に記載の露光装置において、前記鏡筒が少なくとも1つのミラーをそれぞれ保持する複数の分割鏡筒（PP、PP'）から成り、前記鏡筒冷却装置が、前記各分割鏡筒を独立して冷却し、前記熱交換器（HP）は、前記各分割鏡筒と該分割鏡筒によって保持される少なくとも1つのミラーとの間に少なくとも各1つ設けられていることを特徴とする。

【0020】これによれば、鏡筒冷却装置が各分割鏡筒を独立して冷却するので、分割鏡筒毎に異なる温度で冷却することが可能となり、結果的に各分割鏡筒とそれによって保持されたミラーとの間に設けられた熱交換器により、各分割鏡筒毎にミラーを異なる温度まで強制冷却することが可能になる。

【0021】かかる意味からすれば、請求項5に記載の発明の如く、前記複数の分割鏡筒の1つは、前記照明光（EL）が最初に照射される前記第1ミラー（M1）を保持する分割鏡筒（PP'）であり、前記熱交換器の内の1つは、前記第1ミラーと該第1ミラーを保持する分割鏡筒との間に設けられ、前記鏡筒冷却装置は、前記第1ミラーを保持する分割鏡筒を他の分割鏡筒より低温で冷却することが望ましい。このようにすれば、最も熱吸収が多く、結像特性の悪化を招きやすい第1ミラーを他のミラーより効率よく冷却できるので、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を効率的に抑制することが可能になる。

【0022】上記請求項3～5に記載の各発明において、熱交換器は鏡筒（又は分割鏡筒）とミラーとの間で熱交換を行うものであれば何でも良いが、例えば請求項6に記載の発明の如く、前記熱交換器がヒートパイプ（HP）であっても良い。

【0023】上記請求項1又は3に記載の露光装置において、請求項7に記載の発明の如く、前記マスク(R)は反射型マスクであり、前記マスクの前記照明光の入射側と反対側に配置される第2冷却装置(36)を更に備えていても良い。かかる場合には、マスクの照射変動をも抑制することができるので、より効果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。

【0024】請求項8に記載の発明は、マスク(R)に照明光(EL)を照射する照明光学系(PRM、IM、30、M、42)を有し、前記マスクに形成されたパターンを基板(W)上に転写する露光装置であって、反射光学素子(M1~M4)を有し、前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系(PO)と；前記反射光学素子とそれを保持する鏡筒(PP)との間に設けられる熱交換器(HP)とを備える。

【0025】これによれば、投影光学系を構成する反射光学素子とそれを保持する鏡筒との間に設けられる熱交換器を備えていることから、マスクから出射される照明光が前記反射光学素子に照射され、該反射光学素子に温度上昇が生じると、熱交換器によりその反射光学素子と鏡筒との間で熱交換が行われ、その反射光学素子が冷却される。この熱交換器による熱交換は、反射光学素子と鏡筒との温度が一致するまで行われる。従って、予め鏡筒を冷却しておくことにより、照明光の照射に起因する投影光学系の結像特性の悪化をある程度防止することができ、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。

【0026】この場合において、請求項9に記載の発明の如く、前記熱交換器は、前記反射光学素子の反射面の一部とその裏面との少なくとも一方に接続されていても良い。

【0027】上記請求項8又は9に記載の発明において、請求項10に記載の発明の如く、前記投影光学系は複数の反射光学素子のみから成り、前記複数の反射光学素子の少なくとも1つが前記熱交換器と接続されていても良い。

【0028】この場合において、請求項11に記載の発明の如く、前記複数の反射光学素子のうち、前記マスクに対する光学的距離が最も短い反射光学素子(M1)が前記熱交換器(HP)と接続されていることが望ましい。かかる場合には、マスクに対する光学的距離が最も短い場合最も熱吸収が多く、結像特性の悪化を招き易い反射光学素子を冷却できるので、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を効率的に抑制することが可能になる。

【0029】上記請求項10又は11に記載の発明において、請求項12に記載の発明の如く、前記投影光学系は、リング・イメージ・フィールドを有し、かつ物体面側が非テレセントリックで、像面側がテレセントリックな光学系であっても良い。

【0030】上記請求項8~12に記載の各発明において、前記マスクは透過型マスクであっても良いが、請求項13に記載の発明の如く、前記マスク(R)は反射型マスクであり、前記照明光学系(PRM、IM、30、M、42)は、前記マスクのパターン面に対して前記照明光をその主光線を傾けて照射しても良い。

【0031】また、上記請求項1~13に記載の各発明において、請求項14に記載の発明の如く、前記照明光は、波長5~15nmの間のEUV光であっても良い。EUV光のように波長が短い照明光は、その照射エネルギーが大きく、ミラー又は反射光学素子を冷却する必要性が高いからである。

【0032】この場合において、請求項15に記載の発明の如く、前記投影光学系(PO)の視野内で前記照明光の照射領域を円弧スリット状に規定する絞り部材(44)を更に備えていても良い。かかる場合には、絞り部材によってマスク上での前記照明光の照射領域が円弧スリット状に規定されるので、絞り部材のない場合に比べて照明光学系からマスクに向かって照射される照明光の断面形状の自由度が増大し、これに応じて照明光学系を構成する光学素子の設計の自由度が向上する。

【0033】上記請求項8及び9に記載の各発明において、請求項16に記載の発明の如く、前記投影光学系は前記反射光学素子と屈折光学素子とを有する縮小系であっても良い。かかる場合であっても、熱交換器により反射光学素子とそれを保持する鏡筒との間で熱交換が行われ、例えば予め鏡筒を冷却しておくことにより、照明光の照射に起因する投影光学系の結像特性の悪化をある程度防止することができ、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。

【0034】この場合において、請求項17に記載の発明の如く、前記投影光学系は円形イメージフィールドを有し、かつ物体面側、及び像面側が共にテレセントリックな光学系であっても良い。かかる場合には、例えば波長157nmのF₂レーザ光を露光用照明光として露光を行うことにより、基板(ウエハ)上で約100nmL/Sパターン程度の微細パターンの転写を達成することができる。

【0035】また、上記請求項16及び17に記載の各発明において、請求項18に記載の発明の如く、前記照明光は波長200nm程度以下の真空紫外光であっても良い。

【0036】この場合において、照明光学系は、投影光学系の視野内で照明光の照射領域を円弧状若しくは六角形状に規定するものであっても良いが、請求項19に記載の発明の如く、前記照明光学系は、前記投影光学系の視野内で前記照明光の照射領域を矩形スリット状に規定するものであっても良い。

【0037】上記請求項1~19に記載の各発明に係る露光装置において、請求項20に記載の発明の如く、前

記照明光に対して前記マスク（R）と前記基板（W）とをそれぞれ相対移動するステージシステム（RST、WST、80、34、62）を更に備えている場合には、前記投影光学系（PO）の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動して、前記マスク及び前記投影光学系を介して前記照明光で前記基板を走査露光するようにしても良い。

【0038】この場合において、請求項21に記載の発明の如く、前記同期移動中、前記投影光学系（PO）の光軸方向に関する前記マスクの位置情報を検出する第1位置検出系（RIFZ）と、前記光軸方向に関する前記基板の位置情報を検出する第2位置検出系（14）とを更に備えることが望ましい。かかる場合には、走査露光中のマスク、基板の光軸方向位置を第1、第2位置検出系によりそれぞれ検出し、マスク、基板の光軸方向位置を調整することにより、マスク及び基板の光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

【0039】

【発明の実施の形態】《第1の実施形態》以下、本発明の第1の実施形態を図1～図12に基づいて説明する。

【0040】図1には、第1の実施形態に係る露光装置10の全体構成が概略的に示されている。この露光装置10は、露光用の照明光ELとして波長5～15nmの軟X線領域の光（EUV光）を用いて、ステップアンドスキャン方式により露光動作を行う投影露光装置である。本実施形態では、後述するように、マスクとしてのレチクルRからの反射光束をウエハW上に垂直に投射する投影光学系POが使用されているので、以下においては、この投影光学系POからウエハWへの照明光ELの投射方向を投影光学系POの光軸方向と呼ぶとともに、この光軸方向をZ軸方向、これに直交する面内で図1における紙面内の方向をY軸方向、紙面に直交する方向をX軸方向として説明するものとする。

【0041】この露光装置10は、マスクとしての反射型レチクルRに描画された回路パターンの一部の像を投影光学系POを介して基板としてのウエハW上に投影しつつ、レチクルRとウエハWとを投影光学系POに対して1次元方向（ここではY軸方向）に相対走査することによって、レチクルRの回路パターンの全体をウエハW上の複数のショット領域の各々にステップアンドスキャン方式で転写するものである。

【0042】露光装置10は、EUV光ELをY方向に沿って水平に射出する光源装置12、この光源装置12からのEUV光ELを反射して所定の入射角 θ （ θ はここでは約50mradとする）でレチクルRのパターン面（図1における下面）に入射するように折り曲げる折り返しミラーM（照明光学系の一部）、レチクルRを保持するレチクルステージRST、レチクルRのパターン

面で反射されたEUV光ELをウエハWの被露光面に対して垂直に投射する反射光学系から成る投影光学系PO、ウエハWを保持するウエハステージWST、フォーカスセンサ（14a、14b）及びアライメント光学系ALG等を備えている。

【0043】前記光源装置12は、図2に示されるように光源16と照明光学系の一部（PRM、IM、30）とから構成される。光源16は、例えば半導体レーザ励起によるYAGレーザやエキシマレーザ等の高出力レーザ20と、この高出力レーザ20からのレーザ光Lを所定の集光点に集光する集光レンズ22と、この集光点に配置された銅テープ等のEUV光発生物質24とを備えている。

【0044】ここで、EUV光の発生のしくみについて簡単に説明すると、高出力レーザ20からのレーザ光Lが集光レンズ22の集光点に配置されたEUV光発生物質24に照射されると、このEUV光発生物質24がレーザ光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態に励起され、低ポテンシャル状態に遷移する際にEUV光ELを放出する。

【0045】このようにして発生したEUV光ELは全方位に発散するため、これを集光する目的で、光源装置12内には放物面鏡PRMが設けられており、この放物面鏡PRMによってEUV光ELは集光されて平行光束に変換されるようになっている。この放物面鏡PRMの内表面にはEUV光を反射するためのEUV光反射層が形成されており、その裏面には冷却装置26が取り付けられている。冷却装置26としては冷却液体を用いるものが冷却効率の点からは好ましいが、これに限定されるものではない。放物面鏡PRMの素材は熱伝導の点から金属が適している。放物面鏡PRMの表面に形成されているEUV光反射層として、2種類の物質を交互に積層した多層膜を用いることにより、特定の波長の光のみを反射することが知られている。例えば、モリブデンMoと珪素Siを数十層コーティングすると波長約13nmのEUV光を選択的に反射することが知られている。反射されない波長の光は多層膜等により吸収されて熱に変わるため、放物面鏡PRMの温度が上昇する。この放物面鏡PRMを冷却するために、前記冷却装置26が必要となるのである。放物面鏡PRMによって平行光に変換されたEUV光ELは、その光軸に垂直な断面形状が円形で、強度分布が一様な平行光である。

【0046】光源装置12内には、更に、上記の平行光に変換されたEUV光ELを反射して図1の折り返しミラーMの方向に向けて偏向する照明ミラーIMと、この照明ミラーIMのEUV光ELの進行方向後方側（図2における紙面右側）に配置された波長選択窓30とが設けられている。照明ミラーIMは、図2に示されるように、EUV光ELが照射される側の面が曲面とされ、その曲面の表面には、2種類の物質を交互に積層（例え

ば、モリブデンMoと珪素Siを数十層コーティング)した多層膜から成る反射層が形成され、この反射層で反射されたEUV光がレチクルR上で丁度細長いスリット状になるよう設計されている。

【0047】図2の紙面内上下方向が後述するレチクルRのパターン面を照明する後述する所定面積を有する円弧状の照明領域(リング状照明領域の一部を取り出したような形状の照明領域)の長手方向に直交する方向に対応し、レチクルRのパターン面が丁度焦点面となっている。この場合、EUV光ELの発光源が有限の大きさを持つため、レチクルRのパターン面が焦点面になっているといってもその焦点面上ではEUV光ELは1mm～10mm程度の幅を有する。従って、円弧状の照明領域を照明するのに細すぎるということはない。照明ミラーIMの反射面の裏面側には、前述した冷却装置26と同様の冷却装置28が設けられている。

【0048】前記波長選択窓30は、ここでは、可視光をカットする目的で設けられている。これは、多層膜から成るEUV反射膜は、EUV光近辺の波長に対してはかなり鋭い波長選択性を持ち、露光に用いる特定の波長のみを選択的に反射するが、可視光や紫外光なども同様に反射してしまう。これをレチクルRや投影光学系POに導いたりすると、余計なエネルギーのためにレチクルRや投影光学系POを構成するミラー(これらについては後述する)が発熱したり、最悪の場合にはウエハW上に不要な光が転写されて像の劣化を招くおそれもあるため、かかる事態の発生を防止しようとするものである。

【0049】図3には、図2に示される光源装置12をY方向一侧(図2における左側)から見た状態が示されている。この図3においては、紙面の奥側に図1の折り返しミラーMがある。照明ミラーIMの反射面は図3には表れていないが、図3の紙面奥側からみた場合に長方形状をしている。すなわち、図2では凹曲面、この左側面図である図3では長方形であるから、照明ミラーIMの反射面は、円筒の内周面の一部と同様の形状をしていることになる。この場合、EUV光ELは、図2の紙面内では収束されるが、図3の紙面内では平行光のままであるから、図3中の左右方向の長さが後述する円弧状照明領域の長手方向の長さとなる。なお、平行と言っても前述の通り光源の大きさが有限であるため、空間的コヒーレンシーがゼロと言うわけではない。

【0050】図1に戻り、前記レチクルステージRSTは、図1では図示が省略されているが、実際には図4に示されるように、XY平面に沿って配置されたレチクルステージベース32上に配置され、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によって該レチクルステージベース32上に浮上支持されている。このレチクルステージRSTは、該磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によってY方向に所定ストロークで駆動されるとともに、X方向及びθ方向(Z軸回りの回転方向)にも微

小量駆動されるようになっている。また、このレチクルステージRSTは、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によってZ方向及びXY面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

【0051】レチクルステージRSTの周辺部の底部には、永久磁石(図示省略)が設けられており、この永久磁石とレチクルステージベース32上にXY2次元方向に張り巡らされたコイル34aとによって前記磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34が構成されており、後述する主制御装置80によりコイル34aに流す電流を制御することによってレチクルステージRSTの6次元方向の位置及び姿勢制御が行われるようになっている。

【0052】レチクルステージRSTは、図4に拡大して示されるように、レチクルRをレチクルステージベース32に対向して保持するレチクルホルダRHと、レチクルホルダRHの周辺部を保持するステージ本体35と、ステージ本体35の内部でレチクルホルダRHの背面側(上面側)に設けられ該レチクルホルダRHの温度をコントロールするための温度制御部36とを備えている。前記レチクルホルダRHとしては、静電チャック式のレチクルホルダが用いられている。これは、EUV光ELを露光用の照明光として用いる関係から、本実施形態の露光装置10は、実際には、不図示の真空チャンバ内に収容されており、このため真空チャック式のレチクルホルダは使用できないからである。レチクルホルダRHの素材は低膨張ガラスやセラミックなど従来のDUV露光装置で使用されている物で差し支えない。

【0053】レチクルホルダRHのレチクル吸着面には、複数の温度センサ38が所定間隔で配置されており、これらの温度センサ38によってレチクルRの温度が正確に測定され、この測定温度に基づいて温度制御部36でレチクルRの温度を所定の目標温度に保つような温度制御を行う。この温度制御部36を構成する冷却装置としては、外部からフレキシブルなチューブを介して冷却液体を引き込む形の液冷式や、ペルチェ素子のような電子素子を用いる方式、さらにはヒートパイプ等の熱交換器を用いる方式などが採用できる。

【0054】レチクルステージRSTのY方向一侧の側面には、鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面40aが形成されている。図4では図示が省略されているが、図6に示されるように、レチクルステージRSTのX方向一侧の側面にも鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面40bが形成されている。そして、この露光装置10では、従来のDUV光源の露光装置と同様に、前記反射面40a、40bに測定ビームを照射する干渉計システムによってレチクルステージRSTのXY面内の位置が管理されている。この干渉計システムについては、後に詳述する。

【0055】レチクルRの表面(パターン面)には、E

UV光を反射する反射膜が形成されている。この反射膜は、例えば2種類の物質を交互に積層させた多層膜である。ここでは、モリブデンMoと珪素Siの多層膜を用いて波長13nmのEUV光に対して反射率約70%の反射膜を形成している。かかる反射膜の上にEUV光を吸収する物質を一面に塗布し、パタニングする。多層膜のような反射物体をパタニングすると失敗した時の修復が不可能であるのに対し、吸収層を設けてパタニングする方法だとやり直しが可能になるのでパターン修復が可能になる。実在する大部分の物質がEUV光を反射しないため、吸収層に用いることができる。本実施形態では、後述するように、レチクルRのZ方向位置を計測するために、レーザ干渉計(RIFZ1~RIFZ3)が用いられるため、これらのレーザ干渉計からの測定ビーム(可視領域の光)に対して前記反射層と同程度の反射率が得られるような物質により吸収層が形成されている。この他、この吸収層形成材料の選択の基準としてパタニングのし易さ、反射層への密着性、酸化などによる経年変化が小さいなどが挙げられる。

【0056】図5には、レチクルRの一例が示されている。図中の中央にある長方形の領域がパターン領域PAである。斜線が施された円弧状の領域が露光用照明光であるEUV光ELが照射される円弧状照明領域IAである。ここで、円弧状の照明領域を用いて露光を行うのは、後述する投影光学系POの諸収差が最も小さい領域のみを使用できるようにするためである。また、レチクルRのパターン領域PAのX方向両端部には、Y方向に沿って所定間隔で位置合わせマークとしてのレチクルアライメントマークRM1~RM6が形成されている。レチクルアライメントマークRM1とRM4、RM2とRM5、RM3とRM6は、それぞれほぼX方向に沿って配置されている。

【0057】図5から明らかなように円弧状の照明領域IAを用いる場合には、一括露光(静止露光)を行うのは現実的でないため、本実施形態では後述するようにして走査露光が行われる。

【0058】レチクルRは、前述したようにその表面に反射層が形成されるため、レチクルRそのものの素材は特に問わない。レチクルRの素材としては、例えば低膨張ガラス、石英ガラス(例えば、ショット社のゼロデュア(商品名)、コーニング社のULE(商品名)なども含む)、セラミックス、シリコンウエハなどが考えられる。この素材の選択の基準として、例えばレチクルホルダRHの素材と同一の素材をレチクルRの素材として用いることが挙げられる。かかる場合には、照明光ELの照射等による温度上昇に起因してレチクルRやレチクルホルダRHに熱膨張が生じるが、両素材が同一であれば同一量だけ膨張するので、両者の間にずれようとする力(熱応力)が働かないというメリットがある。これに限らず、異なる物質であっても同じ線膨張率を持った物質

をレチクルR及びレチクルホルダRHの素材として用いれば、同じ効果が得られる。例えば、レチクルRにシリコンウエハ、レチクルホルダRHにSiC(炭化珪素)を用いることが考えられる。レチクルRの素材としてシリコンウエハを用いると、パターン描画装置やレジスト塗布装置、エッチング装置などのプロセス装置などがそのまま使用できると言う利点もある。本実施形態では、かかる理由により、レチクルRの素材としてシリコンウエハを用い、レチクルホルダをSiCによって形成している。

【0059】図1に戻り、レチクルRの下方には可動式ブラインド42、視野絞りとしてのスリット板44とがレチクルRに近接して配置されている。より具体的には、これら可動式ブラインド42、スリット板44は、実際には、図4に示されるようにレチクルステージベース32の内部に配置されている。

【0060】スリット板44は、円弧状の照明領域IAを規定するもので、投影光学系POに対して固定されていても勿論良いが、本実施形態においては、このスリット板44は、モータ等を含む切替機構としての駆動機構46によって駆動可能に構成されている。図7には、このスリット板44及びその駆動機構46の平面図が示されている。スリット板44には、露光用の照明光としてのEUV光ELが照射されるレチクルR上の円弧状の照明領域(第1照明領域)IAを規定する第1開口としての第1スリット44aと、レチクルRのパターン領域PAの両側に形成されたアライメントマークRM1とRM4(あるいは、RM2とRM5、RM3とRM6)部分に露光用照明光ELが照射される第2照明領域を規定する第2開口としての第2スリット44bとを有する。駆動機構46は、モータ46Aとこのモータの出力軸に継ぎ手46Bを介して連結された送りねじ46Cと、前記モータ46Aの制御部46Dとを備えている。スリット板44の図7における紙面裏側に突設されたナット部(図示省略)に送りねじ46Cが螺合している。このため、モータ46Aの回転によって送りねじ46Cが回転駆動され、これによって送りねじ46Cの軸方向(Y方向)にスリット板44が駆動されるようになっている。駆動機構46の制御部46Dは、後述する主制御装置80(図11参照)からの指示に従って、露光時には、スリット板44を、露光用照明光ELが第1スリット44aに照射される第1位置に切り替え、レチクルRの位置合わせ(アライメント)時には、スリット板44を、露光用照明光ELが第2スリット44bに照射される第2位置に切り替えるようになっている。なお、送りねじ機構の代わりに、例えばリニアモータを用いてスリット板44を駆動しても良い。

【0061】図4に戻り、前記可動式ブラインド42は、同一レチクルR内に描かれた冗長回路パターンをウエハWに転写したくない場合、その冗長回路部分が照明

領域I A内に含まれるのを防止するためのもので、本実施形態では、後述する主制御装置80（図11参照）からの指示に応じ、駆動機構46を構成する前記制御部46DによってレチクルステージRSTのY方向の移動と同期してそのY方向の移動が制御されるようになっている。この場合において、可動式ブラインド42の始動は、レチクルRが走査し始めてからレチクルRと同じように走査し始めても良いし、目標の隠すべきパターンが差し掛かるのに合わせて動き始めても良い。

【0062】図1に戻り、前記投影光学系POは、前記の如く、反射光学素子としてのミラーのみから成る反射光学系が使用されており、ここでは、投影倍率1/4倍のものが使用されている。従って、レチクルRによって反射され、レチクルRに描かれたパターン情報を含むEUV光ELは、投影光学系POによって4分の1に縮小されてウエハW上に照射される。

【0063】ここで、投影光学系POについて図8を用いてより詳細に説明する。この図8に示されるように、投影光学系POは、レチクルRで反射されたEUV光ELを順次反射する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の合計4枚のミラー（反射光学素子）と、これらのミラーM1～M4を保持する鏡筒PPとから構成されている。前記第1ミラーM1及び第4ミラーM4の反射面は非球面の形状を有し、第2ミラーM2の反射面は平面であり、第3ミラーM3の反射面は球面形状となっている。各反射面は設計値に対して露光波長の約50分の1から60分の1以下の加工精度が実現され、RMS値（標準偏差）で0.2nmから0.3nm以下の誤差しかない。この場合、第1ミラーM1、第2ミラーM2の素材は、熱膨張率が小さい低膨張ガラスであり、第3ミラーM3、第4ミラーM4の素材は金属である。各ミラーM1～M4の表面にはレチクルRと同様の2種類の物質を交互に重ねた多層膜によりEUV光に対する反射層が形成されている。投影光学系POを構成するミラーに用いられる低膨張ガラスとしては、例えばショット社製のゼロデュア（商品名）がある。ゼロデュアは、ハイクォーツ構造をした結晶化相を70～80重量パーセント含んでいるため、その線膨張係数は $0 \pm 0.05 \times 10^{-6}$ である。また、ゼロデュアの熱伝導率は $1.6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ である。なお、ゼロデュアなどの低膨張ガラスの代わりに、例えばアルミナ系（ Al_2O_3 ）、又はコーデライト系（ $2\text{MgO}_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ）の低膨張セラミックスを用いるようにしても良い。

【0064】この場合、図8に示されるように、第1ミラーM1で反射された光が第2ミラーM2に到達できるように、第4ミラーM4には穴が空けられている。同様に第4ミラーM4で反射された光がウエハWに到達できるよう第1ミラーM1には穴が設けられている。勿論、穴を空けるのではなく、ミラーの外形を光束が通過可能な

切り欠きを有する形状としても良い。

【0065】投影光学系POが置かれている環境も真空であるため、照明光ELの照射による熱の逃げ場がない。そこで、本実施形態では、ミラーM1～M4と当該ミラーM1～M4を保持する鏡筒PPの間を熱交換器としてのヒートパイプHPで連結するとともに、鏡筒PPを冷却する冷却装置を設けている。すなわち、鏡筒PPを内側のインナー部材50と、その外周部に装着された冷却装置としての冷却ジャケット52との2重構造とし、冷却ジャケット52の内部には、冷却液を流入チューブ54側から流出チューブ56側に流すための螺旋状のパイプ58が設けられている。ここでは、冷却液として冷却水が用いられている。冷却ジャケット52から流出チューブ56を介して流出した冷却水は、不図示の冷凍装置内で冷媒との間で熱交換を行い、所定温度まで冷却された後、流入チューブ54を介して冷却ジャケット52内に流入するようになっており、このようにして冷却水が循環されるようになっている。

【0066】図9には、一例として図8の第2ミラーM2の支持構造が概略的に示されている。図9（A）に示されるように、ミラーM2は、通常と同様、その裏面（図9（A）における上面）側の周辺部が円筒状のミラー枠90の3箇所内に突設された不図示の3点座の下面に支持され、その表面（反射面）側の周辺部3箇所が不図示の押え板によって固定されている。また、ミラーM2がずれたり、外れたりしないようにするため、ミラー枠90とミラーM2の側面との間には、パッキン（図示省略）が介装されている。また、本実施形態では、ミラー枠90には、所定間隔で複数の孔が形成され、これらの孔にそれぞれヒートパイプHPが挿入されている。各ヒートパイプHPは、その放熱部（凝縮部）が鏡筒PPに接続され、その入熱部（蒸発部）がミラーM2の裏面又は表面に接触されている。但し、実際には、ミラーM2の表面側に設けられたヒートパイプHPの先端は、図9（B）に示されるように、シリコン等の緩衝部材92を介してミラーM2の表面に当接されている。これによって、ミラーM2の反射面に歪み等が生ずるのを防止している。

【0067】残りのミラーM1、M3、M4も上記と同様の支持構造によって支持され、同様にして各ヒートパイプHPの入熱部が当接されている。

【0068】上述のようにして、ミラーM1～M4がそれぞれの支持構造によって支持され、ヒートパイプHPによって鏡筒PPのインナー部材50に連結されているため、本実施形態の投影光学系POでは、露光用の照明光（EUV光）ELの照射によりミラーM1、M2、M3、M4に熱エネルギーが与えられても、ヒートパイプHPにより一定温度に温度調整された鏡筒PPとの間で熱交換が行われて、ミラーM1、M2、M3、M4が前記一定温度に冷却されるようになっている。この場合にお

いて、本実施形態では、図8に示されるように、ミラーM1、M2、M4等については、その裏面側のみでなく表面側（反射面側）の露光用照明光が照射されない部分にもヒートパイプHPが貼り付けられているので、裏面側のみを冷却する場合に比べてより効果的に前記各ミラーの冷却が行われる。なお、第3ミラーM3の裏面側や第1ミラーM1の表面側のヒートパイプHPは、紙面の奥行き方向において鏡筒PPの内周面に達していることは言うまでもない。なお、鏡筒PPの外観は、図9

(A)に示されるように、四角柱状をしている。

【0069】図1に戻り、前記ウエハステージWSTは、XY平面に沿って配置されたウエハステージベース60上に配置され、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62によって該ウエハステージベース60上に浮上支持されている。このウエハステージWSTは、前記磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62によってX方向及びY方向に所定ストロークで駆動されるとともに、θ方向（Z軸回りの回転方向）にも微小量駆動されるようになっている。また、このウエハステージWSTは、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62によってZ方向及びXY面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

【0070】ウエハステージWSTの底面には、永久磁石（図示省略）が設けられており、この永久磁石とウエハステージベース60上にXY2次元方向に張り巡らされたコイル（図示省略）とによって前記磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62が構成されており、後述する主制御装置80により前記コイルに流す電流を制御することによってウエハステージWSTの6次元方向の位置及び姿勢制御が行われるようになっている。

【0071】ウエハステージWSTの上面には、静電チャック方式の不図示のウエハホルダが載置され、該ウエハホルダによってウエハWが吸着保持されている。また、このウエハステージWSTの図1におけるY方向他側の側面には鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面74aが形成されている。また、図1では図示が省略されているが、図6に示されるように、ウエハステージWSTのX方向一侧の側面にも鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面74bが形成されている。そして、この露光装置10では、前記反射面74a、74bに測定ビームを照射する干渉計システムによって投影光学系POに対するその位置が正確に測定されるようになっている。この干渉計システムについては後述する。

【0072】ウエハステージWST上面の一端部には、レチクルRに描画されたパターンがウエハW面上に投影される位置と、アライメント光学系（アライメント顕微鏡）ALGの相対位置関係の計測（いわゆるベースライン計測）等を行うための空間像計測器FMが設けられている。この空間像計測器FMは、従来のDUV露光装置

の基準マーク板に相当するものである。

【0073】図10（A）、（B）には、この空間像計測器FMの平面図、縦断面図がそれぞれ示されている。これらの図に示されるように、空間像計測器FMの上面には、スリットSLTが形成されている。このスリットSLTは、ウエハステージWSTの上面に固定された所定厚さの蛍光発生物質63の表面に形成されたEUV光の反射層64にパターンニングされたものである。なお、反射層64に代えてEUV光の吸収層を設け、この吸収層に開口を形成してもよい。

【0074】前記スリットSLTの下方のウエハステージWSTの上面板には、開口66が形成されており、この開口66に対向するウエハステージWSTの内部には、フォトマルチプライヤ等の光電変換素子PMが配置されている。従って、投影光学系POを介して上方から空間像計測器FMにEUV光ELが照射されると、スリットSLTを透過したEUV光が蛍光発生物質63に到達し、該蛍光発生物質63がEUV光に比べて波長の長い光を発する。この光が光電変換素子PMによって受光されその光の強度に応じた電気信号に変換される。この光電変換素子PMの出力信号も主制御装置80に供給されるようになっている。

【0075】次に、図6を用いて、レチクルステージRST及びウエハステージWSTの位置を計測する干渉計システム70（図11参照）の構成等について詳述する。なお、図6においては、各レーザ干渉計の測長軸を用いて該当するレーザ干渉計を代表的に示している。

【0076】この干渉計システム70は、レチクルステージRSTのXY面内の位置を計測する4つのレーザ干渉計RIFX1、RIFX2、RIFY1、RIFY2と、ウエハステージWSTのXY面内の位置を計測する4つのレーザ干渉計WIFX1、WIFX2、WIFY1、WIFY2とを含んで構成されている。

【0077】干渉計RIFY1は、レチクルステージRSTの反射面40aに計測ビームRIFY1Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡（参照鏡）72a（図1参照）に参照ビームRIFY1Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームRIFY1Mの投射位置での固定鏡72aに対するレチクルステージRSTのY方向の相対位置を計測する。

【0078】同様に、干渉計RIFY2は、レチクルステージRSTの反射面40aに計測ビームRIFY2Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡（参照鏡）72a（図1参照）に参照ビームRIFY2Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームRIFY2Mの投射位置での固定鏡72aに対するレチクルステージRSTのY方向の相対位置を計測する。

【0079】上記2つの干渉計RIFY1、RIFY2

の計測ビームRIFY1M、RIFY2Mの照射位置の中心が照明領域IAの中心（レチクルRのX方向の中心）と一致するようになっている。従って、これら2つの干渉計の計測値の平均値がレチクルステージRSTのY方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがレチクルステージRSTの回転角（ここでは $\alpha 1$ とする）を与える。これらの干渉計RIFY1、RIFY2の計測値は、主制御装置80に供給されており、主制御装置80では上記平均値、及び回転角 $\alpha 1$ を算出する。

【0080】また、干渉計RIFX1は、レチクルステージRSTの反射面40bに計測ビームRIFX1Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡（参照鏡）72bに参照ビームRIFX1Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームRIFX1Mの投射位置での固定鏡72bに対するレチクルステージRSTのX方向の相対位置を計測する。

【0081】同様に、干渉計RIFX2は、レチクルステージRSTの反射面40bに計測ビームRIFX2Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡（参照鏡）72bに参照ビームRIFX2Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームRIFX2Mの投射位置での固定鏡72bに対するレチクルステージRSTのX方向の相対位置を計測する。

【0082】上記2つの干渉計RIFX1、RIFX2の計測ビームRIFX1M、RIFX2Mの照射位置の中心が照明領域IAの中心（図5中の点P2参照）と一致するようになっている。従って、これら2つの干渉計の計測値の平均値がレチクルステージRSTのX方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがレチクルステージRSTの回転角（ここでは $\alpha 2$ とする）を与える。これらの干渉計RIFX1、RIFX2の計測値は、主制御装置80に供給されており、主制御装置80では上記平均値、及び回転角 $\alpha 2$ を算出する。この場合、主制御装置80では上記の回転角 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ のいずれか一方、又はその平均値 $(\alpha 1 + \alpha 2) / 2$ をレチクルステージRSTの θ 方向の回転角として算出する。

【0083】干渉計WIFY1は、ウエハステージWSTの反射面74aに計測ビームWIFY1Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡（参照鏡）76aに参照ビームWIFY1Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームWIFY1Mの投射位置での固定鏡76aに対するウエハステージWSTのY方向の相対位置を計測する。

【0084】同様に、干渉計WIFY2は、ウエハステージWSTの反射面74aに計測ビームWIFY2Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付

けられた固定鏡（参照鏡）76aに参照ビームWIFY2Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームWIFY2Mの投射位置での固定鏡76aに対するウエハステージWSTのY方向の相対位置を計測する。

【0085】上記2つの干渉計WIFY1、WIFY2の計測ビームWIFY1M、WIFY2Mの照射位置の中心が照明領域IAに対応するウエハ上の円弧状の露光領域SA（図11参照）の中心と一致するようになっている。従って、これら2つの干渉計の計測値の平均値がウエハステージWSTのY方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがウエハステージWSTの回転角（ここでは $\beta 1$ とする）を与える。これらの干渉計WIFY1、WIFY2の計測値は、主制御装置80に供給されており、主制御装置80では上記平均値、及び回転角 $\beta 1$ を算出する。

【0086】また、干渉計WIFX1は、ウエハステージWSTの反射面74bに計測ビームWIFX1Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡（参照鏡）76bに参照ビームWIFX1Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームWIFX1Mの投射位置での固定鏡76bに対するウエハステージWSTのX方向の相対位置を計測する。

【0087】同様に、干渉計WIFX2は、ウエハステージWSTの反射面74bに計測ビームWIFX2Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡（参照鏡）76bに参照ビームWIFX2Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームWIFX2Mの投射位置での固定鏡76bに対するウエハステージWSTのX方向の相対位置を計測する。

【0088】上記2つの干渉計WIFX1、WIFX2の計測ビームWIFX1M、WIFX2Mの照射位置の中心が照明領域IAに対応する露光領域SAの中心と一致するようになっている。従って、これら2つの干渉計の計測値の平均値がウエハステージWSTのX方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがウエハステージWSTの回転角（ここでは $\beta 2$ とする）を与える。これらの干渉計WIFX1、WIFX2の計測値は、主制御装置80に供給されており、主制御装置80では上記平均値、及び回転角 $\beta 2$ を算出する。この場合、主制御装置80では上記の回転角 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ のいずれか一方、又はその平均値 $(\beta 1 + \beta 2) / 2$ をウエハステージWSTの θ 方向の回転角として算出する。

【0089】図1に戻り、上記8つの干渉計の全ての計測の基準となる投影光学系POの鏡筒PPには、レチクルRのZ方向（第1軸方向）の位置を計測する計測装置としてのレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZが設けられている。このレーザ干渉計RIFZは、実際には、

図6に示されるように、レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の3つが所定間隔で配置され、鏡筒PPに固定されているが、図1（及び図4）では、これらが代表的にレーザ干渉計RIFZとして示されている。

【0090】これらのレーザ干渉計RIFZ1～RIFZ3からの測定ビームは、折り返しミラーMを介して所定の入射角 θ でレチクルRのパターン面に投射される照明光ELの照射領域、すなわち円弧状の照明領域IA内の異なる3点に露光用照明光ELの入射光路と出射光路（反射光路）の中心のZ方向の光路を通してレチクルRのパターン面に投射されるようになっている（図1及び図4参照）。このため、レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3は、レチクルRのパターン面に所定の入射角 θ で斜めから入射し、入射角と同一の出射角で反射される照明光ELに影響を及ぼすことなく、かつ露光用照明光ELによって干渉計測定ビームが影響を及ぼされることなく、高精度（例えば、数nm～1nm以下の精度）でレチクルRのZ方向位置を計測することが可能になっている。

【0091】レーザ干渉計RIFZ1～RIFZ3としては、ここでは、本体内に不図示の参照鏡が内蔵された参照鏡内蔵タイプのものが用いられ、その参照鏡の位置を基準としてレチクルR上の測定ビームの照射位置のZ方向位置を、それぞれ計測する。この場合、図5に示される照明領域IA内の点P1の位置にレーザ干渉計RIFZ1からの測定ビームが投射され、点P2の位置にレーザ干渉計RIFZ2からの測定ビームが投射され、点P3の位置にレーザ干渉計RIFZ3からの測定ビームが投射されるようになっている。点P2は、照明領域IAの中心、即ちパターン領域PAのX方向の中心軸上の点でかつ照明領域のY方向の中心点であり、点P1、P3は前記中心軸に関して対称の位置にある。

【0092】これら3つのレーザ干渉計RIFZ1～RIFZ3の計測値は、主制御装置80に入力されるようになっており（図11参照）、主制御装置80ではこれら3つの計測値に基づいて後述するようにして磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を介してレチクルステージRST、すなわちレチクルRのZ位置及び傾斜を補正するようになっている。

【0093】この一方、鏡筒PPを基準とするウエハWのZ方向位置は、投影光学系POに固定された斜入射光式のフォーカスセンサ14によって計測されるようになっている。このフォーカスセンサ14は、図1に示されるように、鏡筒PPを保持する不図示のコラムに固定され、ウエハW面に対し斜め方向から検出ビームFBを照射する送光系14aと、同じく不図示のコラムに固定され、ウエハW面で反射された検出ビームFBを受光する受光系14bとから構成される。このフォーカスセンサとしては、例えば特開平6-283403号公報等に関

示される多点焦点位置検出系が用いられている。このフォーカスセンサ14（14a、14b）は鏡筒PPと一体的に固定されることが重要である。

【0094】これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、レチクルRのXYZ3次元方向の位置が投影光学系POの鏡筒PPを基準として計測され、また、ウエハWのXYZ3次元方向の位置が投影光学系POの鏡筒PPを基準として計測されるので、投影光学系POとレチクルステージRSTとウエハステージWSTの3者は同一の支持部材で支えられる必要は無く、それぞれが別々の支持部材によって支えられても差し支えない。すなわち、投影光学系PO、レチクルステージRST及びウエハステージWSTの3者間に機械的接触は全くなくても差し支えない。また、前述した干渉計システム70を構成する各干渉計の本体も、鏡筒PPに取り付けられたそれぞれの固定鏡を参照して計測を行っているので、投影光学系PO、レチクルステージRST、ウエハステージWSTと機械的接触は必要無い。

【0095】さらに、本実施形態では、投影光学系POの側面に、図1に示されるように、前記アライメント光学系ALGが固定されている。このアライメント光学系ALGとしては、ブロードバンド光をウエハW上のアライメントマーク（または空間像計測器FM）に照射し、その反射光を受光して画像処理方式によりマーク検出を行う結像式アライメントセンサ、レーザ光を格子マークに照射して回折光を検出するLIA（Laser Interferometric Alignment）方式のアライメントセンサやAFM（原子間力顕微鏡）のような走査型プローブ顕微鏡等種々のものを用いることができる。

【0096】図11には、これまでに各所で説明した、ウエハW（ウエハステージWST）及びレチクルR（レチクルステージRST）の位置及び姿勢制御に関連する制御系の構成が概略的にブロック図にて示されている。この図11に示される制御系の内の主制御装置80（マイクロコンピュータ又はミニコンピュータから成る）及び磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34、62によって、ステージ制御系が構成されている。

【0097】次に、上述のようにして構成された本第1の実施形態に係る露光装置10による露光工程の動作について説明する。

【0098】まず、不図示のレチクル搬送系によりレチクルRが搬送され、ローディングポジションにあるレチクルステージRSTのレチクルホルダRHに吸着保持される。次に、主制御装置80からの指令に基づいて駆動機構46によりスリット板44が照明光ELが第2スリット44bを照射可能な位置（第2位置）へ切り替えられる。次いで、主制御装置80では磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62、34を介してウエハステージWST及びレチクルステージRSTの位置を制御して、レチクルR上に描画されたレチクルアライメントマーク

RM1, RM4, RM2, RM5, RM3, RM6を順次各2つ露光用照明光ELで照射するとともに、レチクルアライメントマークRM1, RM4, RM2, RM5, RM3, RM6のウエハW面上への投影像を空間像計測器FMで検出することにより、レチクルパターン像のウエハW面上への投影位置を求める。すなわち、レチクルアライメントを行う。

【0099】次に、主制御装置80では、空間像計測器FMのスリットSLTがアライメント光学系ALGの直下へ位置するように、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハステージWSTを移動し、アライメント光学系ALGの検出信号及びそのときの干渉計システム70の計測値に基づいて、間接的にレチクルRのパターン像のウエハW面上への結像位置とアライメント光学系ALGの相対位置、すなわちベースライン量を求める。

【0100】かかるベースライン計測が終了すると、主制御装置80ではウエハステージWST上のウエハWの各ショット領域に付設されたウエハアライメントマークの内の予め定めたサンプル対象となっているウエハアライメントマークの位置検出を、ウエハステージWSTを順次移動させつつ、アライメント光学系ALGを用いて行う。このようにして、サンプルショットのウエハアライメントマークの位置検出が終了すると、それらのデータを用いて最小2乗法を利用した統計的手法を用いてウエハW上の全てのショット領域の位置を求める。このようにして、アライメント計測が終了すると、主制御装置80では駆動機構46を介してスリット板44を、第1スリット44aに照明光ELが照射される位置（第1位置）へ切り替える。

【0101】そして、主制御装置80では次のようにしてステップアンドスキャン方式の露光をEUV光を露光用の照明光ELとして用いて行う。すなわち、上で求めたウエハW上の各ショット領域の位置情報に従って、干渉計システム70からの位置情報をモニタしつつ、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハステージWSTを第1ショットの走査開始位置に位置決めするとともに、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を介してレチクルステージRSTを走査開始位置に位置決めして、その第1ショットの走査露光を行う。この走査露光に際し、主制御装置80では磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34、62を介してレチクルステージRSTとウエハステージWSTとの速度比が投影光学系POの投影倍率に正確に一致するように両ステージの速度を制御し、両ステージのかかる速度比の等速同期状態にて露光（レチクルパターンの転写）が行われる。こうして第1ショットの走査露光が終了すると、ウエハステージWSTを第2ショットの走査開始位置へ移動させるショット間のステッピング動作を行う。そして、その第2ショットの走査露光を上述と同様にし

て行う。この場合、レチクルステージRSTを戻す動作を省略してスループットの向上を図るべく、第1ショットと第2ショットとの走査露光の方向は反対向きで、すなわち第1ショットの露光がY軸上の一侧から他側の向きで行われた場合には第2ショットの露光は他側から一侧の向きで行われる。すなわち交互スキャンが行われる。このようにして、ショット間のステッピング動作とショットの走査露光動作とが繰り返され、ステップアンドスキャン方式でウエハW上の全てのショット領域にレチクルRのパターンが転写される。図12には、このようにして、レチクルパターンがウエハW上の複数ショット領域Sに転写される様子が示されている。図12の場合は、1枚のウエハから効率良く完全な形のショットが得られるよう、一行内に収めるショット数を適宜偶数、奇数としている。

【0102】ここで、上記の走査露光中やアライメント中には、投影光学系POに一体的に取付けられたフォーカスセンサ（14a、14b）によってウエハW表面と投影光学系POの間隔、XY平面に対する傾斜が計測され、主制御装置80によって磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハW表面と投影光学系POとの間隔、平行度が常に一定になるようにウエハステージWSTが制御される。

【0103】また、主制御装置80では、レチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の少なくとも1つにより計測された所定の調整用位置情報に基づいて、露光中（レチクルパターンの転写中）の投影光学系POとレチクルRのパターン面との間隔が常に一定に保たれるように、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を制御してレチクルRの投影光学系POの光軸方向（Z方向）の位置を調整しつつ、レチクルステージRSTと基板ステージWSTとをY軸方向に沿って同期移動させる。この場合、主制御装置80では、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとの同期移動時に、レチクルステージRSTの移動方向毎、例えば第1ショットと第2ショットとで、レチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の少なくとも1つによって計測された第1の調整用位置情報及び第2の調整用位置情報の内の移動方向に対応する方の調整用位置情報を用いてレチクルステージRSTのZ方向位置を調整するようになっている。

【0104】従って、本実施形態によると、走査露光によりレチクルRのパターンの全面がウエハW上に逐次転写され、この際調整用位置情報に基づいてレチクルRの投影光学系の光軸方向の位置が調整されるので、投影光学系POのレチクル側が非テレセントリックであるにもかかわらず、レチクルRの光軸方向変位に起因してウエハW上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。また、レチクル

ステージRSTがY軸に沿って一側から他側に移動するとき、他側から一側に移動するときで、同期移動中のレチクルRのZ方向の位置変位がメカ的要因（ステージの移動特性）や制御特性等で異なる場合であっても、その影響を受けることなく、高精度にレチクルRのZ位置調整を行うことができ、レチクルRのZ方向変位に起因してウエハW上のパターン転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのをより効果的に抑制することができる。

【0105】ここで、主制御装置80では露光中のレチクルRのZ方向の位置調整を、予めレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の少なくとも1つによって計測して得た調整用位置情報（第1の調整用位置情報、第2の調整用位置情報）に基づいて磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34をフィードフォワード制御することにより行っても良く、あるいは実際の走査露光中にレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の少なくとも1つによってリアルタイムに計測して得た調整用位置情報（第1の調整用位置情報、第2の調整用位置情報）に基づいて磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34をフィードバック制御することにより行っても良い。前者の場合には、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとの同期移動中に、レチクルRのZ変位を計測することなく、予め計測された情報に基づいてフィードフォワード制御により調整が行われるので、その調整に際して制御遅れに起因する調整誤差が発生し難い。後者の場合には、前者の場合に比べて制御遅れが発生しないような制御系の工夫が必要であるが、より高精度にレチクルRのZ方向の位置を調整できるという利点がある。

【0106】また、レチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3は、レチクルRの円弧状の照明領域IA内の異なる位置にそれぞれの測定ビームを照射し、各測定ビームの照射位置でレチクルRのZ方向位置を計測するので、これらのレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の全てを用いることにより、最も正確な測定データに基づいて時々刻々のレチクルR上のパターン転写の対象領域内のZ位置のみでなくその傾斜をも調整することが可能になり、結果的に重ね合せ精度を一層向上させることが可能になる。

【0107】以上詳細に説明したように、本第1の実施形態に係る露光装置10によると、照明光ELの吸収により投影光学系POを構成する前記複数のミラーM1～M4に温度上昇が生じると、熱交換器としてのヒートパイプHPによってミラーM1～M4と鏡筒PPとの間で熱交換が行われ、該ミラーM1～M4が鏡筒PPの温度まで強制的に冷却される。この場合、鏡筒冷却装置としての冷却ジャケット52によりミラーM1～M4を保持する鏡筒PPが冷却されており、ヒートパイプHPによる熱交換は、ミラーM1～M4に対する照明光ELの照

射中は連続的に行われる。従って、ヒートパイプHPが接続されたミラーM1～M4の変形を防止することができ、投影光学系POの結像特性が悪化するのを防止することができ、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。

【0108】この場合、鏡筒PPに保持された全てのミラーM1～M4と鏡筒PPとの間にヒートパイプHPを設け、全てのミラーM1～M4の熱変形を防止するようにしているが、これに限らず、レチクルRとの光学的距離が最も短く、従って照明光ELが最初に照射される第1ミラーM1にのみヒートパイプHP等の熱交換器を接続しても良い。あるいは第1ミラーM1に加え、第2ミラーM2にヒートパイプHPを接続してもよい。照明光ELの熱エネルギーはミラーM1の位置で最も高いので少なくともミラーM1と鏡筒PPとの間にヒートパイプ等の熱交換器を設け、ミラーM1を強制冷却することが望ましい。かかる場合には、レチクルRに対する光学的距離が最も短い場合最も熱吸収が多く、結像特性の悪化を招き易いミラーM1を冷却できるので、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を効率的に抑制することが可能になるからである。

【0109】また、本第1の実施形態では、鏡筒PPを冷却するとともに、この鏡筒PPにヒートパイプを介してミラーM1～M4を連結することにより、ヒートパイプの熱交換によってミラーを冷却する構成、すなわち、低膨張ガラスから成るミラーM1の表面側（反射面）及び裏面側を冷却する冷却装置を、ヒートパイプHPと冷却ジャケット52との組み合わせにより構成するので、かなりの温度変化に対してはその変形が結像特性を悪化させることがないという低膨張ガラス等の熱伝導率が小さい材料の長所を生かすとともに、限界を超える温度変化が生じないように反射面を直接冷却することにより、照明光の照射に起因する投影光学系の結像特性の悪化を防止することができ、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。但し、本発明がかかる構成に限定されないことは勿論である。例えば、投影光学系POとして複数のミラーから成る反射光学系が用いられ、複数のミラーの内の少なくとも1つのミラーが熱伝導率が小さい材料（例えば低膨張ガラス）により形成されている場合には、該低膨張ガラスから成るミラーの反射面上の照明光の非照射領域に冷却装置（例えばペルチェ素子）を直接配置して、そのミラーの反射面を直接冷却するようにしても良い。なお、ミラーの熱伝導率に関係なく表面冷却は有効であるが、特に熱伝導率が小さいミラーでは裏面を冷却した場合に温度勾配が生じ易いので、表面（反射面）を直接冷却する効果（表面冷却の効果）が大きい。

【0110】また、本実施形態に係る露光装置10では、レチクルRとして反射型レチクルが使用され、レチクルRの照明光ELの入射側（パターン面側）と反対側

に配置された第2冷却装置を含む温度制御部36を備えていることから、レチクルRの照射変動をも抑制することができ、より効果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になっている。

【0111】また、本実施形態では、熱交換器としてヒートパイプHPを使用するので、機器の軽量・コンパクト化に貢献することができるが、これに限らず、他の熱交換器を用いても良い。

【0112】また、本実施形態によると、レチクルパターンの転写に際して、ステージ制御系(80、34、62)では投影光学系POの倍率に応じた速度比でレチクルRとウエハWとを同期移動する。この同期移動中に、主制御装置80ではパターンの像倍率誤差を補正するために干渉計RIFZの出力に基づいて投影光学系POに対してレチクルRをZ方向に相対移動させるので、レチクルRの光軸方向変位に起因してウエハW上のパターンの転写像に倍率誤差が生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

【0113】また、本実施形態によると、照明系(12、PRM、IM、30、M、44)は、照明光ELとして波長5~15nmの間のEUV光をレチクルRに照射し、投影光学系POとして複数の反射光学素子(M1~M4)のみからなる反射光学系が用いられているため、EUV光を用いてレチクルパターンが投影光学系POを介してウエハWに転写されるので、非常に微細なパターン、例えば100nmL/Sパターンの高精度な転写が可能である。また、EUV光のように波長が短い照明光は、その照射エネルギーが大きいので、本実施形態では投影光学系POを構成するミラーを冷却する重要性を考慮して、上記の如くミラーを冷却している。

【0114】また、本実施形態によると、干渉計システム70がレチクルステージRSTとウエハステージWSTとの投影光学系POに対するXY面内の相対位置を計測し、レチクルRの投影光学系POに対するZ方向の相対位置がレーザ干渉計RIFZにより計測され、かつウエハWの投影光学系POに対するZ方向の相対位置がフォーカスセンサ14により計測されるようになっているので、レチクルステージRSTとウエハステージWSTと投影光学系POとが別々の支持部材に支持されていても何らの支障がない。このため、レチクルステージRSTとウエハステージWSTと投影光学系POとが機械的に連結される必要がないので、レチクルステージRST、ウエハステージWSTの移動時の加減速度による反力やそれぞれのステージの支持部材の振動が、投影光学系POの結像特性に悪影響を及ぼしたり、一方のステージの移動時の加減速度による反力が支持部材を介して他方のステージの挙動に悪影響を与えることもない。

【0115】また、本実施形態によると、照明光学系内のスリット板44は、レチクルパターンの一部に照明光

ELを照射する第1スリット44aと、レチクルアライメントマークに照明光ELを照射する第2スリット44bとを有し、照明光ELに対し第1スリット44aと第2スリット44bとを切り替える駆動機構46が設けられていることから、同一のスリット板44により露光時及びアライメント時のそれぞれに適切な照明領域の設定が可能になる。また、この場合、スリット板44のない場合に比べて照明光学系からレチクルRに向かって照射される照明光の断面形状の自由度が増大し、これに応じて照明光学系を構成する光学素子の設計の自由度が向上する。

【0116】また、本実施形態では、露光用の照明光ELが軟X線領域の光であり、ウエハステージWST上に、蛍光発生物質63と、この表面に露光用照明光ELの反射層62の薄膜により形成されたスリットSLTと、該スリットSLTを介して露光用照明光ELが蛍光発生物質63に到達した際に蛍光発生物質63が発する光を光電変換する光電変換素子PMとを有する空間像計測器FMを備えることから、通常軟X線領域の光を透過する物質は存在しないにもかかわらず、かかる光を露光用照明光として用いる場合にもその露光用照明光を用いて空間像の計測が可能となり、この空間像計測器FMを用いてレチクルパターンのウエハステージWST上での投影位置を容易に求めること等が可能になる。

【0117】また、本実施形態では、レチクルRのパターンが、EUV光ELの反射層上に成膜されたEUV光(露光用照明光)ELの吸収物質によって形成されていることから、露光用照明光である軟X線領域の光の反射物質として多層膜をパタニングする場合と異なり、失敗した場合のパターン修復が可能となる。また、上記吸収物質の材料を適当に選択することにより、上記の露光用照明光の反射層と吸収物質とを干渉計RIFZの測長ビーム(例えば可視領域の光)に対してほぼ同一反射率に設定することができ、レチクルR上の全面でほぼ同一精度でレチクルRのZ軸方向位置を計測することが可能となる。

【0118】なお、上記実施形態では、投影光学系POの鏡筒PPを照明光ELの照射中ずっと冷却する場合を例示したが、これに限らず、予め鏡筒を冷却しておくようにしても良い。かかる場合であっても、レチクルRから出射される照明光ELがミラー(反射光学素子)M1~M4に照射され、該ミラーM1~M4がその照明光ELの熱エネルギーにより温度上昇すると、ヒートパイプ等の熱交換器によりそのミラーと鏡筒との間で熱交換が行われ、そのミラーが冷却される。この熱交換器による熱交換は、反射光学素子と鏡筒との温度が一致するまで行われる。従って、照明光ELの照射に起因する投影光学系POの結像特性の悪化をある程度防止することができ、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。

【0119】また、上記実施形態では、ヒートパイプHPが、ミラーM1～M4の反射面の一部とその裏面との両方に接続された場合について説明したが、これに限らず、ミラーM1～M4の反射面の一部とその裏面の少なくとも一方に接続されていても良い。

【0120】なお、上記実施形態では、レチクル面計測用レーザ干渉計RIFZとして、参照鏡一体型のタイプを使用する場合を例示したが、これに限らず、レチクルのZ位置を計測する干渉計は、投影光学系に固定された参照鏡と、投影光学系から離れた位置に配置された干渉計本体とを有していても良い。かかる場合には、干渉計本体の発熱に起因して投影光学系、あるいはそれに固定されたアライメントセンサやフォーカスセンサ等の各種のセンサの光学特性に悪影響を与えるのを回避することができる。また、上記実施形態では、レーザ干渉計RIFZからの3つの測定ビームがレチクルR上の照明領域IA内に照射される場合について説明したが、これに限らず、例えば干渉計RIFZは、レチクルRのY方向の異なる位置に測定ビームを照射し、各測定ビームの照射位置毎にレチクルRのZ方向の位置を計測するようにしても良い。かかる場合には、少なくともY方向（同期移動方向）については、レチクルRとウエハWとの同期移動中にレチクルRの光軸方向位置ずれ傾斜ずれを調整することが可能になる。この場合において、干渉計RIFZから少なくとも2本の測定ビームをレチクル上の照明領域IAのY方向の両側にそれぞれ照射する場合には、レチクルRとウエハWとの同期移動中に、いわゆる先読み制御を行うことにより、フィードフォワードにてレチクルRのZ位置の調整が可能になる。

【0121】また、上記実施形態では、同期移動中に投影光学系POの物体面側でレチクルRをZ方向に移動させる駆動部材が、レチクルRを保持するレチクルステージWSTとこれを駆動する磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34とで構成される場合について説明したが、これに限らず、レチクルステージRST上にレチクルRを保持するレチクルホルダRHを複数点でZ方向に駆動するピエゾ素子等の別のアクチュエータを設け、これによって駆動部材を構成してもよい。いずれにしても、駆動部材は、投影光学系POの物体面に対してレチクルRを相対的に傾けるものであることが望ましい。かかる場合には、同期移動中、駆動部材によって、投影光学系POの物体面側でレチクルRがZ方向に移動されるのに加え、投影光学系POの物体面に対する傾斜調整も可能になるので、投影光学系の物体面側が非テレセントリックであるにもかかわらず、レチクルRの光軸方向変位に起因してウエハW上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

【0122】また、上記実施形態では、スリット板44を用いて円弧状の照明領域IAを規定する場合について

説明したが、これに限らず、照明光学系を構成する各光学部材が照明光ELが円弧状の形になるように設計されていればレチクルR直下のスリット板44は必ずしも設ける必要はない。

【0123】また、レチクルアライメントマークはRM1～RM6の位置ではなく、図5中のRM7～RM12の位置にしても良い。かかる場合には、スリット板44として、第1スリット44aのみを有するスリット板があれば良く、また、駆動機構46は不要である。あるいは、レチクルアライメントマークをRM1～RM12の全ての位置に形成し、これら全てを利用しても良い。

【0124】《第2の実施形態》次に、本発明の第2の実施形態について図13に基づいて説明する。ここで、前述した第1の実施形態と同一若しくは同等の構成部分については、同一の符号を用いるとともにその詳細な説明は省略するものとする。

【0125】図13には、第2の実施形態の露光装置100の全体構成が概略的に示されている。この露光装置100も、前述した露光装置10と同様に、露光用の照明光ELとして波長5～15nmの軟X線領域の光（EUV光）を用いて、ステップアンドスキャン方式により露光動作を行う投影露光装置である。

【0126】この露光装置100は、前述した投影光学系POに代えて投影光学系PO'が設けられている点が前述した露光装置10と異なり、この点に特徴を有する。

【0127】この投影光学系PO'は、Z方向に沿って配置され相互に連結された第1の分割鏡筒PPと第2の分割鏡筒PP'との2部分から構成されており、各分割鏡筒PP、PP'のそれぞれが別々の冷却装置によって独立して冷却されている。すなわち、第1の分割鏡筒PPは、前述した第1の実施形態の鏡筒PPと同様に、内側のインナー部材50と、その外周部に装着された鏡筒冷却装置としての冷却ジャケット52との2重構造とし、冷却ジャケット52の内部には、冷却液を流入チューブ54側から流出チューブ56側に流すための螺旋状のパイプ58が設けられている。ここでは、冷却液として冷却水（又は住友スリーエム社のフロリナート（フッ素系不活性液体））が用いられている。冷却ジャケット52から流出チューブ56を介して流出した冷却水は、不図示の冷凍装置内で冷媒との間で熱交換を行い、所定温度まで冷却された後、流入チューブ54を介して冷却ジャケット52内に流入するようになっており、このようにして冷却水が循環されるようになっている。

【0128】これと同様に、第2の分割鏡筒PP'は、内側のインナー部材51と、その外周部に装着された鏡筒冷却装置としての冷却ジャケット53との2重構造とし、冷却ジャケット53の内部には、冷却液を流入チューブ55側から流出チューブ57側に流すための螺旋状のパイプ59が設けられている。ここでは、冷却液とし

て、冷却水が用いられている。冷却ジャケット53から流出チューブ57を介して流出した冷却水は、不図示の冷凍装置内で冷媒との間で熱交換を行い、所定温度まで冷却された後、流入チューブ55を介して冷却ジャケット53内に流入するようになっており、このようにして冷却水が循環されるようになっている。

【0129】ここで、本第2の実施形態では、ミラーM2、M4が分割鏡筒PP内に保持され、ミラーM1、M3が分割鏡筒PP'内に保持されている。ミラーM2、M4とこれらを保持する分割鏡筒PPとの間が熱交換器としてのヒートパイプHPで連結されている。同様に、ミラーM1、M3とこれらを保持する分割鏡筒PP'との間が熱交換器としてのヒートパイプHPで連結されている。

【0130】以上のようにして、構成された本第2の実施形態に係る露光装置100では、前述した第1の実施形態と同等の効果をえられる他、各分割鏡筒PP、PP'の冷却ジャケット52、53内に異なる温度の冷却水を流すことにより、それぞれの分割鏡筒を異なる温度まで強制冷却することが可能であり、ここでは、レチクルRからの反射光が最初に照射されるミラーM1（及びM3）を保持する分割鏡筒PP'をミラーM2（及びM4）を保持する分割鏡筒PPより低温で冷却するようになっている。これにより、最も熱吸収が多く、結像特性の悪化を招き易いミラーM1を他のミラーより効率よく冷却し、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を効率的に抑制している。

【0131】なお、上記第1、第2の実施形態で示した投影光学系や、照明光学系はほんの一例であって、本発明がこれに限定されないことは勿論である。

【0132】また、上記各実施形態において、照明光ELとして、波長13.4nmのEUV光に限らず、波長11.5nmのEUV光を用いても良い。この波長域ではモリブデンとベリリウムとを交互に積層させた多層膜が光学素子の表面に形成されることになる。なお、70nmL/Sパターン、又は50nm孤立パターンを転写するためには、波長13.4nmのEUV光では開口数が0.1~0.12程度の投影光学系が用いられ、波長11.5nmのEUV光では開口数が0.08~0.1程度の投影光学系が用いられる。

【0133】さらに、上記実施形態の光源装置12では、銅テープなどのテープターゲットを用いるものとしたが、その代わりにガスジェットターゲット、又はクライオターゲットなどを用いても良い。

【0134】なお、上記第1及び第2実施形態において、レチクルRのパターン面に近接して可動式ブラインド42及び視野絞り（スリット板）44を配置したが、ブラインド42と視野絞り44との少なくとも一方を照明光学系内でレチクルRのパターン面とほぼ共役な面に配置してもよい。

【0135】また、前述の上記各実施形態では本発明が露光用照明光としてEUV光を用いる露光装置に適用された場合について説明したが、これに限らず、例えば紫外光を用いる露光装置であっても、投影光学系として反射光学素子のみからなる反射系、又は反射光学素子と屈折光学素子とを有する反射屈折系（カタディオプトリック系）を採用した装置であれば、本発明を適用して同様の効果を得ることができる。例えば、波長200nm程度以下の真空紫外光（VUV光）を用いる露光装置では、投影光学系として反射屈折系を用いることが考えられる。この場合、反射光学素子（凹面鏡、ミラーなど）を熱伝導率が小さい材料で構成し、かつその裏面に、必要な場合には更に表面（反射面）上の照明光の非照射領域にもヒートパイプなどの熱交換器を接続すれば良い。

【0136】ここで、反射屈折型の投影光学系としては、例えば特開平8-171054号公報、特開平10-20195号公報などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタと凹面鏡とを有する反射屈折系、又は特開平8-334695号公報、特開平10-3039号公報に開示される、反射光学素子としてビームスプリッタを用いずに凹面鏡などを有する反射屈折系を用いることができる。

【0137】この他、米国特許第5,031,976号、第5,488,229号、及び第5,717,518号が開示される、複数の屈折光学素子と2枚のミラー（凹面鏡である主鏡と、屈折素子又は平行平板の入射面と反対側に反射面が形成される裏面鏡である副鏡）とを同一軸上に配置し、その複数の屈折光学素子によって形成されるレチクルパターンの中間像を、主鏡と副鏡とによってウエハ上に再結像させる反射屈折系を用いても良い。この反射屈折系では、複数の屈折光学素子に続けて主鏡と副鏡とが配置され、照明光が主鏡の一部を通して副鏡、主鏡の順に反射され、さらに副鏡の一部を通してウエハ上に達することになる。

【0138】なお、反射屈折型の投影光学系を用いる場合も、少なくとも1つの光学素子をそれぞれ保持する複数の分割鏡筒を用い、さらに複数の分割鏡筒に当該各分割鏡筒をそれぞれ冷却する温調装置を接続しても良い。あるいは、投影光学系（例えばフランジ部）と、投影光学系を保持する架台との間に断熱材を設け、その架台を通して熱が投影光学系に伝わるのを防止しても良い。

【0139】さらに、反射屈折型の投影光学系としては、例えば円形イメージフィールドを有し、かつ物体面側、及び像面側が共にテレセントリックであるとともに、その投影倍率が1/4倍又は1/5倍となる縮小系を用いても良い。また、この反射屈折型の投影光学系を備えた走査型露光装置の場合、照明光の照射領域が投影光学系の視野内でその光軸をほぼ中心とし、かつレチクル又はウエハの走査方向とほぼ直交する方向に沿って延びる矩形スリット状に規定されるタイプであっても良

い。かかる反射屈折型の投影光学系を備えた走査型露光装置によれば、例えば波長157nmのF₂レーザ光を露光用照明光として用いても100nmL/Sパターン程度の微細パターンをウエハ上に高精度に転写することが可能である。

【0140】また、真空紫外光としてArFエキシマレーザ光やF₂レーザ光などが用いられるが、DFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（又はエルビウムとイットリビウムの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。

【0141】例えば、単一波長レーザの発振波長を1.51~1.59μmの範囲内とすると、発生波長が189~199nmの範囲内である8倍高調波、又は発生波長が151~159nmの範囲内である10倍高調波が出力される。特に発振波長を1.544~1.553μmの範囲内とすると、発生波長が193~194nmの範囲内の8倍高調波、即ちArFエキシマレーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られ、発振波長を1.57~1.58μmの範囲内とすると、発生波長が157~158nmの範囲内の10倍高調波、即ちF₂レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。

【0142】また、発振波長を1.03~1.12μmの範囲内とすると、発生波長が147~160nmの範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を1.099~1.106μmの範囲内とすると、発生波長が157~158μmの範囲内の7倍高調波、即ちF₂レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。この場合、単一波長発振レーザとしては例えばイットリビウム・ドープ・ファイバーレーザを用いることができる。

【0143】さらに、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、及び撮像素子（CCDなど）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。

【0144】また、半導体素子などのマイクロデバイスだけでなく、光露光装置、EUV露光装置、X線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるレチクル又はマスクを製造するために、ガラス基板又はシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。ここで、DUV（遠紫外）光やVUV（真空紫外）光などを用いる露光装置では一般的に透過型レチクルが用いられ、レチクル基板としては石英ガラス、

フッ素がドープされた石英ガラス、蛍石、フッ化マグネシウム、又は水晶などが用いられる。また、プロキシミティ方式のX線露光装置、又は電子線露光装置などでは透過型マスク（ステンシルマスク、メンブレンマスク）が用いられ、マスク基板としてはシリコンウエハなどが用いられる。

【0145】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1~21に記載の各発明に係る露光装置によれば、照射変動に起因する転写像の劣化を効果的に抑制することができるという従来にない優れた効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態の露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1の光源装置の内部を構成を示す図である。

【図3】図2の光源装置の左側面図である。

【図4】図1のレチクルステージ近傍の構成各部を詳細に示す図である。

【図5】レチクルの概略平面図である。

【図6】レチクルステージとウエハステージのXY平面内の位置を計測する干涉計システムの構成を説明するための図である。

【図7】図1のスリット板及びその駆動機構の一例を示す平面図である。

【図8】図1の投影光学系の内部構成を概略的に示す図である。

【図9】（A）は図8の各ミラーの支持構造を説明するための概略斜視図、（B）は（A）の側面図である。

【図10】（A）は空間像計測器を示す平面図、（B）は（A）の空間像計測器を示す側面図である。

【図11】ウエハ（ウエハステージ）及びレチクル（レチクルステージ）の位置及び姿勢制御に関連する制御系の構成を概略的に示すブロック図である。

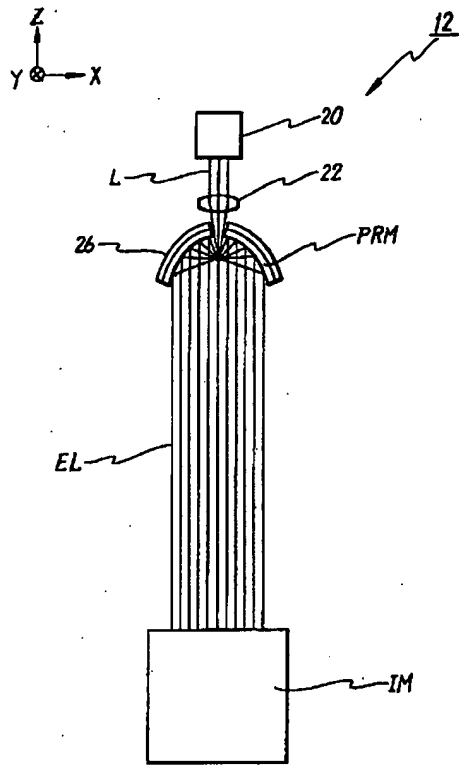
【図12】レチクルパターンがウエハ上の複数ショット領域に転写される様子を示す図である。

【図13】第2の実施形態に係る露光装置の全体構成を概略的に示す図である。

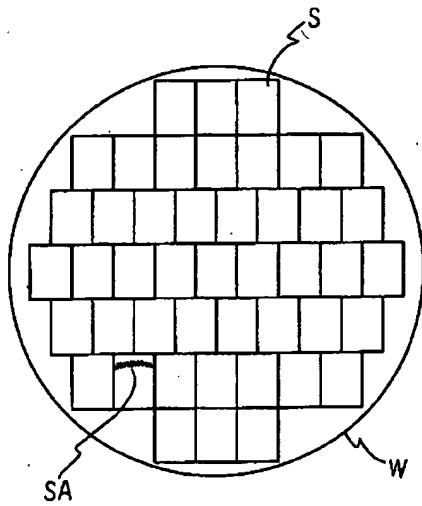
【符号の説明】

10…露光装置、36…温度制御部（第2冷却装置）、52…水冷ジャケット（鏡筒冷却装置、冷却装置の一部）、53…水冷ジャケット、R…レチクル（マスク）、PO…投影光学系、W…ウエハ（基板）、M1…第1ミラー（反射光学素子）、M2…第2ミラー（反射光学素子）、M3…第3ミラー（反射光学素子）、M4…第4ミラー（反射光学素子）、HP…ヒートパイプ（熱交換器、冷却装置の一部）、PP…鏡筒（第1の分割鏡筒）、PP'…第2の分割鏡筒、EL…照明光。

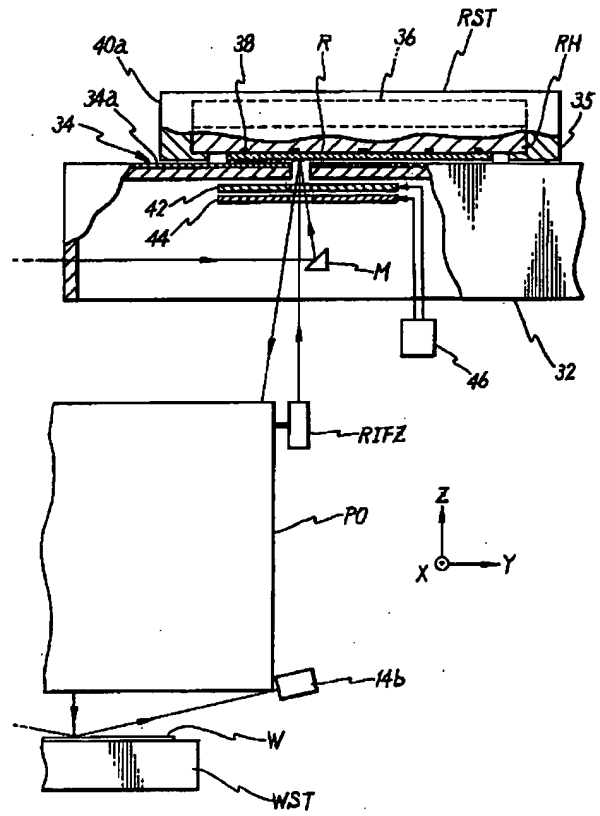
【図 3】



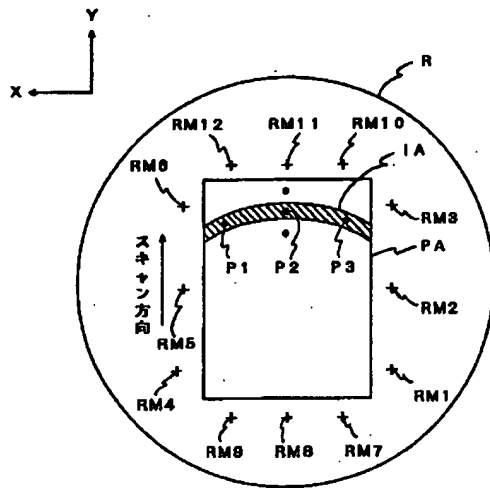
【図 1 2】



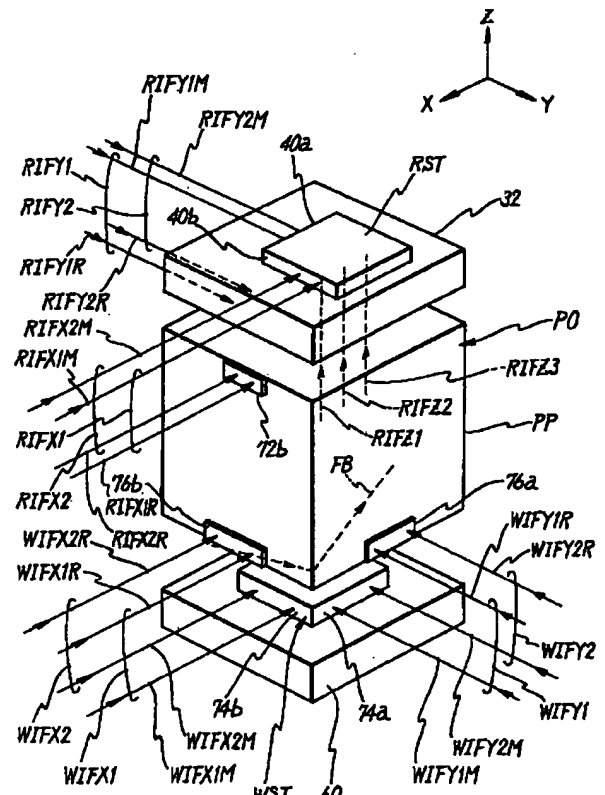
【図 4】



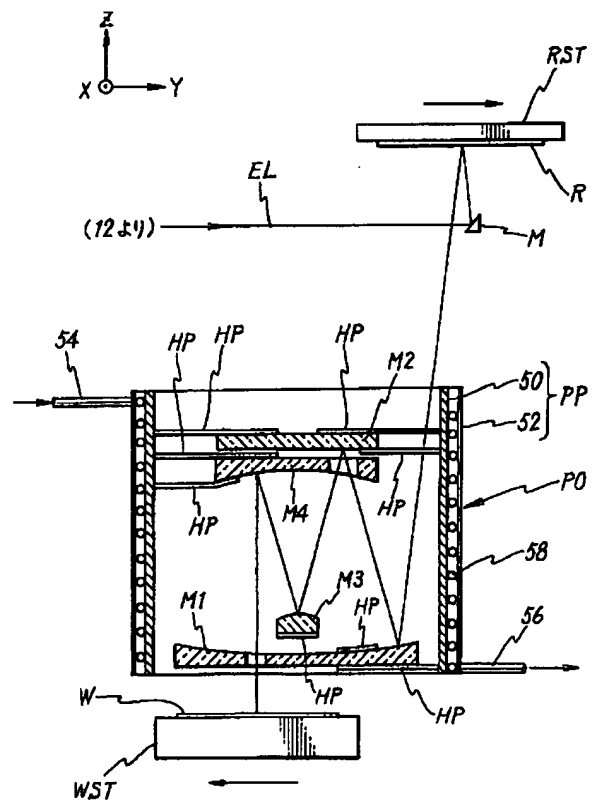
【図5】



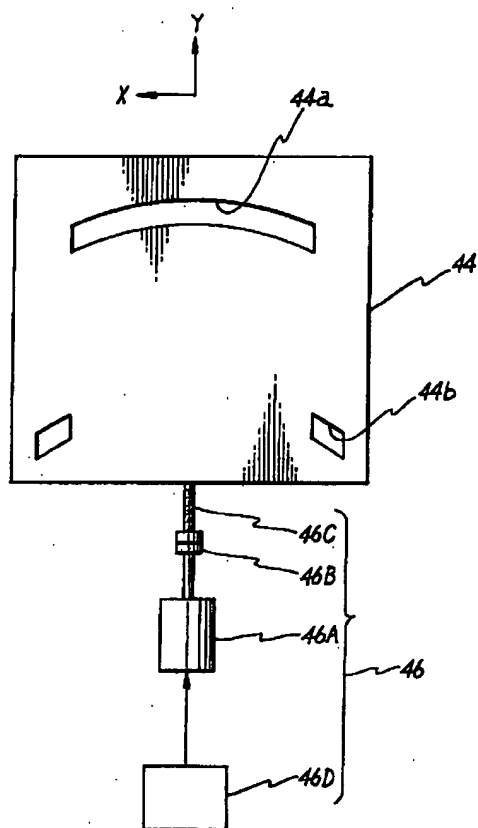
【図6】



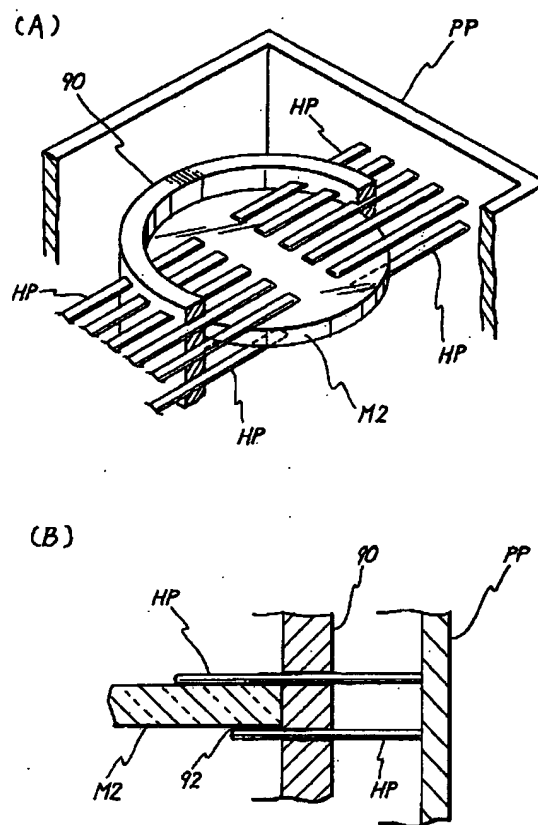
【図8】



【図7】

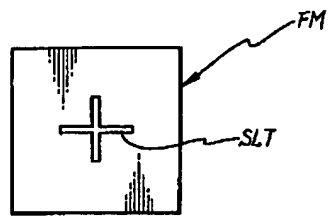


【図9】

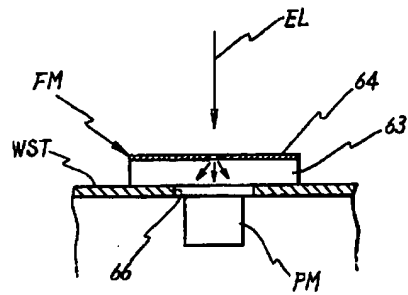


【図10】

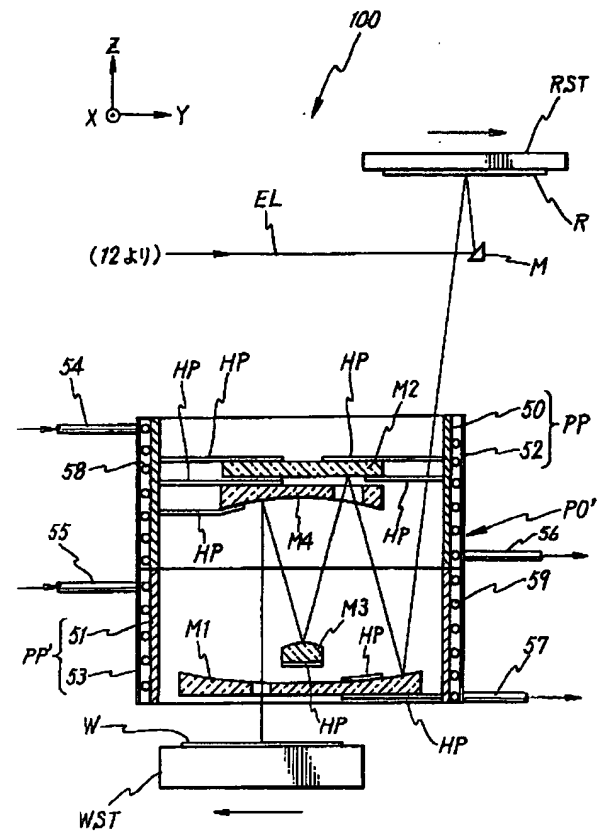
(A)



(B)



【図13】



【図11】

